

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-307121

(43)Date of publication of application : 05.11.1999

(51)Int.Cl.

H01M 10/40  
// C07D233/54

(21)Application number : 10-111795

(71)Applicant : MITSUBISHI CHEMICAL CORP

(22)Date of filing : 22.04.1998

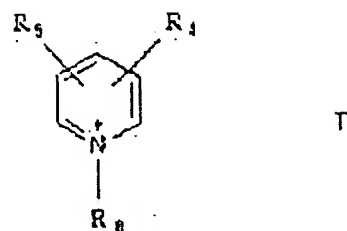
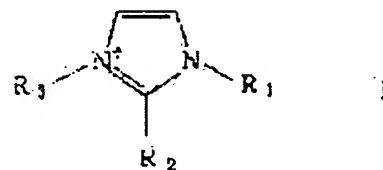
(72)Inventor : KOMINATO ASAO  
YASUKAWA SHIGEKI  
MORI SHOICHIRO

## (54) ELECTROLYTE FOR LITHIUM SECONDARY BATTERY

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To impart flame resistance, and to provide excellent lithium cycle efficiency and cycle characteristic by constituting an electrolyte by blending lithium salt and a cyclic organic compound of a specific rate with normal temperature type molten salt composed of a cation of specific quaternary imidazolium or quaternary pyridinium and an anion joined to this.

**SOLUTION:** A quaternary imidazolium cation is expressed by formula I, quaternary pyridinium cation is expressed by formula II, and a cyclic organic compound such as cyclic ester, cyclic ether or a sulfur containing cyclic compound is blended by 1 to 130 volume % with normal temperature type molten salt. This molten salt is noninflammable since it has no vapor pressure at a temperature of a wide range, and the cyclic organic compound reduces viscosity of an electrolyte to increase mobility of a lithium ion as well as to form an ion transmissive protective coating film on an interface by reacting with lithium metal and an alloy of a negative electrode active material. In formulas I and II, R1 and R3, R6 independently represent an alkyl group having the carbon number 1 to 6 or 1 to 10, and R2, R4, R5 independently represent hydrogen or an alkyl group having the carbon number 1 to 6.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

11-307121

Measurement of the cycle efficiency was carried out for a coin cell having a nickel plate or an aluminum plate (effective electrode area:  $0.64 \text{ cm}^2$ ) as a working electrode and a lithium metal plate (effective electrode area:  $0.64 \text{ cm}^2$ ) as an opposite electrode and containing an electrolytic solution in dry air atmosphere under the conditions of constant current density (current density:  $0.2 \text{ mA/cm}^2$ ), electrodeposition electric energy ( $0.12 \text{ C/cm}^2$ ) by using a charge-discharge apparatus (HJ-101SM6, manufactured by Hokuto Denko Corp.). The cycle efficiency was calculated according to the following equation:

[0020]

[Equation 1]

$$\text{cycle efficiency (\%)} = \frac{\text{electric energy consumed for dissolution}}{\text{electric energy consumed for electrodeposition}} \times 100$$

[0021] (Measurement of charge-discharge capacity)

Using the electrolytes of Examples and Comparative Examples, coin type lithium secondary batteries (diameter 20 mm and thickness 1.6 mm) were produced and charge-discharge capacity of each battery was measured. Each of the produced coin type batteries, as Fig. 1 showing the cross-sectional view, comprises a stainless case 1 working also as a positive pole terminal, a stainless sealing plate 2 working also as a negative pole terminal, and a gasket 3 sealing and insulating both terminals. The positive electrode 4 was produced by mixing

lithium cobalt composite oxide ( $\text{LiCoO}_2$ ) as a positive active material with acetylene black as a conductive agent and a fluoro resin as a binder at weight ratio of 90 : 5 : 5; dispersing the mixture in a solvent (N-methylpyrrolidone) for obtaining a slurry; applying the slurry to an aluminum foil as a positive current collector; drying the slurry; and forming a positive electrode in 12.5 mm diameter. The negative pole 5 was produced from a lithium metal foil with 16 mm diameter and 1.0 mm thickness and the separator 6 was immersed in the electrolytic solution to compose the battery. The theoretical capacity of each battery was 142 Ah/kg in a voltage range of 2.5 V to 4.2 V.

[0022] Examples 1 to 11

Respective electrolytic solutions were produced by adding and mixing 25 parts by volume of the cyclic organic compounds shown in Table 1 to and with 75 parts by volume of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (hereinafter, abbreviated as EMIBF<sub>4</sub>), which is a normal temperature molten salt, and dissolving LiBF<sub>4</sub> in a proper amount to be 1 mol/dm<sup>3</sup> in the resulting mixture and the lithium cycle efficiency was measured. The results are shown in Table 1.

[0023] Example 12

An electrolytic solution was produced by adding and dissolving 25 parts by volume of  $\gamma$ -butyrolactone and LiBF<sub>4</sub> in a proper amount to be 1 mol/dm<sup>3</sup> to and in 75 parts by volume of N-n-butylpyridinium tetrafluoroborate (hereinafter,

abbreviated as BPBF<sub>4</sub>) used as a normal temperature molten salt, and the lithium cycle efficiency was measured. The results are shown in Table 1.

[0024] Example 13

An electrolytic solution was produced by dissolving 25 parts by volume of  $\gamma$ -butyrolactone and LiAlCl<sub>4</sub> in a concentration of 0.4 mol/dm<sup>3</sup> in 75 parts by volume of 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrachloroaluminate (hereinafter, abbreviated as EMIAIAlCl<sub>4</sub>) used as a normal temperature molten salt, and the lithium cycle efficiency was measured. The results are shown in Table 1.

[0025] Comparative Example 1

An electrolytic solution was produced in the same manner as Example 1, except that no cyclic organic compound was used and the lithium cycle efficiency was measured. The results are shown in Table 1.

[0026] Comparative Example 2

An electrolytic solution was produced in the same manner as Example 12, except that no cyclic organic compound was used and the lithium cycle efficiency was measured. The results are shown in Table 1.

[0027] Comparative Example 3

An electrolytic solution was produced in the same manner as Example 13, except that no cyclic organic compound was used and the lithium cycle efficiency was measured. The results are

shown in Table 1.

[0028] Example 14

The charge-discharge capacity measurement was carried out for a coin type cell containing an electrolytic solution produced by adding 5 parts by volume of  $\gamma$ -butyrolactone to 95 parts by volume of EMIBF<sub>4</sub> used as a normal temperature molten salt, and dissolving LiBF<sub>4</sub> in a concentration of 2.8 mol/dm<sup>3</sup> in the mixture. The results are shown in Table 1 and Fig. 2

[0029] Comparative Example 4

An electrolytic solution was produced in the same manner as Example 14, except that no cyclic organic compound was used and the charge-discharge capacity measurement was carried out for the coin type cell containing the electrolytic solution. The results are shown in Table 1 and Fig. 2.

Table 1

	Molten Salt	Cyclic Organic Compound	Composition Ratio (Volume Ratio)		Lithium Salt Concentration (mol/dm <sup>3</sup> )		Lithium Cycle Efficiency (%)	
			X	Y	LiBF <sub>4</sub>	LiAlCl <sub>4</sub>	Ni Electrode	Al Electrode
Ex. 1	EMIBF <sub>4</sub>	Ethylene Carbonate	75	25	1		41	70
Ex. 2	EMIBF <sub>4</sub>	Propylene Carbonate	75	25	1		33	71
Ex. 3	EMIBF <sub>4</sub>	$\gamma$ -butyrolactone	75	25	1		47	85
Ex. 4	EMIBF <sub>4</sub>	Tetrahydrofuran	75	25	1		22	65
Ex. 5	EMIBF <sub>4</sub>	Tetrahydrobiran	75	25	1		21	
Ex. 6	EMIBF <sub>4</sub>	1,4-dioxane	75	25	1		16	
Ex. 7	EMIBF <sub>4</sub>	1,3-dioxoran	75	25	1		18	62
Ex. 8	EMIBF <sub>4</sub>	1,3-propane Sultone	75	25	1		30	
Ex. 9	EMIBF <sub>4</sub>	Sulfolane	75	25	1		18	
Ex. 10	EMIBF <sub>4</sub>	Ethylene Sulfide	75	25	1		43	70
Ex. 11	EMIBF <sub>4</sub>	Thiophenol	75	25	1		58	
Ex. 12	BPBF <sub>4</sub>	$\gamma$ -butyrolactone	75	25	1		35	
Ex. 13	EMIAICl <sub>4</sub>	$\gamma$ -butyrolactone	75	25		0.4	28	
Ex. 14	EMIBF <sub>4</sub>	$\gamma$ -butyrolactone	95	5	2.8			77
Comp. Ex. 1	EMIBF <sub>4</sub>		100	0	1		9	41
Comp. Ex. 2	BPBF <sub>4</sub>		100	0	1		8	
Comp. Ex. 3	EMIAICl <sub>4</sub>		100	0		0.4	10	
Comp. Ex. 4	EMIBF <sub>4</sub>		100	0	2.8		10	53

Lithium cycle efficiency: The average efficiency of 5 to 20 cycles is shown.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-307121

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

F 1

H 0 1 M 10/40

H 0 1 M 10/40

A

// C 0 7 D 233/54

C 0 7 D 233/54

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-111795

(22)出願日 平成10年(1998)4月22日

(71)出願人 000005968

三菱化学株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番2号

(72)発明者 小渡 あさを

茨城県稲敷郡阿見町中央八丁目3番1号

三菱化学株式会社筑波研究所内

(72)発明者 安川 栄起

茨城県稲敷郡阿見町中央八丁目3番1号

三菱化学株式会社筑波研究所内

(72)発明者 森 彰一郎

茨城県稲敷郡阿見町中央八丁目3番1号

三菱化学株式会社筑波研究所内

(74)代理人 弁理士 長谷川 曉司

(54)【発明の名称】 リチウム二次電池用電解液

(57)【要約】

【課題】 難燃性を有し、リチウムサイクル効率、サイクル特性に優れた安全性の高いリチウム二次電池用電解液の提供。

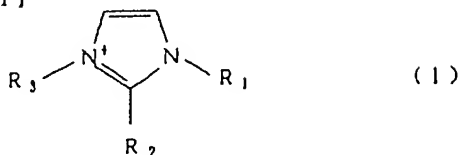
【解決手段】 溶質のリチウム塩を、常温型溶融塩及びこれに対して1～100容量の環状有機化合物を含有する液に溶解したリチウム二次電池用電解液。



【特許請求の範囲】

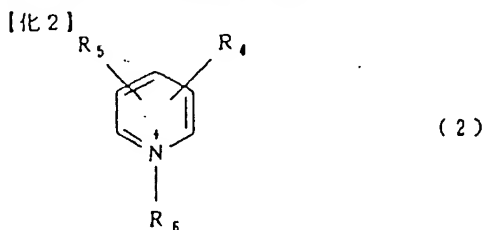
【請求項1】 下記一般式(1)

【化1】



(式中、R<sub>1</sub> 及び R<sub>3</sub> は、それぞれ独立して、炭素数 1～6 のアルキル基を表し、R<sub>2</sub> は水素原子または炭素数 1～6 のアルキル基を表す。) で示される 4 級イミダゾ

リウムカチオン又は下記一般式(2)



(式中、R<sub>6</sub> は炭素数 1～10 のアルキル基を表し、R<sub>4</sub> 及び R<sub>5</sub> は、それぞれ独立して、水素原子または炭素数 1～6 のアルキル基を表す。) で示される 4 級ピリジ

ニウムカチオン及びこれらカチオンと結合して常温型熔融塩を形成する能力を有するアニオンからなる常温型熔融塩に、リチウム塩及び該常温型熔融塩に対し 1～130 容量%の環状有機化合物を配合してなることを特徴とするリチウム二次電池用電解液。

【請求項2】 常温型熔融塩を形成する能力を有するアニオンが、BF<sub>4</sub><sup>-</sup>、PF<sub>6</sub><sup>-</sup>、AlCl<sub>4</sub><sup>-</sup>、(CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>2</sub><sup>-</sup>、N<sup>-</sup> 及び (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>2</sub><sup>-</sup>、C<sup>-</sup> から選ば

れることを特徴とする請求項1記載のリチウム二次電池用電解液。

【請求項3】 環状有機化合物が、環状エステル、含硫黄環状化合物及び環状エーテルから選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項1又は2記載のリチウム二次電池用電解液。

【請求項4】 環状エステルが、プロピレンカーボネート、エチレンカーボネート及びγ-ブチロラクトンから選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項3記載のリチウム二次電池用電解液。

【請求項5】 含硫黄環状化合物が、プロパンスル

トン、スルホラン、エチレンサルファイト及びチオフェ

ノールから選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項3記載のリチウム二次電池用電解液。

【請求項6】 環状エーテルが、テトラヒドロフラン、

テトラヒドロピラン、ジオキソラン及びジジオキサンから

選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項3記載のリチウム二次電池用電解液。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はリチウム二次電池用電解液に関する。更に詳しくは、難燃性で、リチウムサイクル効率及びサイクル特性に優れたリチウム二次電池用電解液に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、有機溶媒電解液を用いたリチウム電池が高エネルギー密度の電源として広く用いられている。有機溶媒電解液は、高誘電率溶媒としてエチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、γ-ブチロラクトン等、低粘性溶媒として炭酸ジメチル、炭酸エチルメチル、炭酸ジエチル、1, 2-ジメトキシエタン等を混合した溶媒に、リチウム塩を混合したものが用いられている。しかしこの様な有機溶媒は引火性の高い可燃性溶媒であり、電池内部の圧力上昇又は電池の機械的破壊により電解液が漏洩した場合、引火燃焼する危険性がある。

【0003】 一方、常温型熔融塩はイオン性液体であって、広い温度範囲で蒸気圧を有しないことより引火性の低いことが知られている(J. Electrochem. Soc., 144, 3881 (1997))。また、この常温型熔融塩をリチウム二次電池用電解液として使用した研究も報告されている(特開平-349365号公報、米国特許第5, 552, 238)が、リチウム効率の低さや、熔融塩とリチウム金属との反応性等の問題により、そのサイクル特性が性能的に十分なものは未だ得られていない。

【0004】

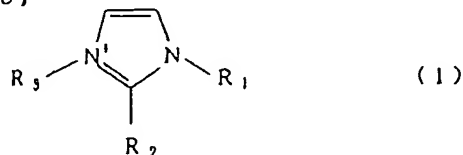
【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、リチウム二次電池に最適な電解液として、難燃性を有し、リチウムサイクル効率及びサイクル特性に優れ、安全性、信頼性が向上したリチウム二次電池用電解液を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明者等は検討を重ね、常温型熔融塩に特定の有機溶媒を配合することにより、難燃性で、且つ、リチウムサイクル効率、サイクル特性の良好な電解液が得られることを知り本発明を達成した。即ち、本発明の要旨は、下記一般式(1)

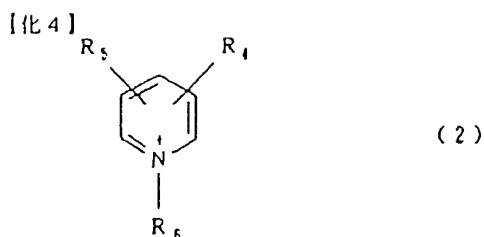
【0006】

【化3】



【0007】 (式中、R<sub>1</sub> 及び R<sub>3</sub> は、それぞれ独立して、炭素数 1～6 のアルキル基を表し、R<sub>2</sub> は水素原子または炭素数 1～6 のアルキル基を表す。) で示される 4 級イミダゾリウムカチオン又は下記一般式(2)

【0008】



【0009】（式中、 $R_6$  は炭素数 1～10 のアルキル基を表し、 $R_4$  及び  $R_5$  は、それぞれ独立して、水素原子または炭素数 1～6 のアルキル基を表す。）で示される 4 級ピリジニウムカチオン及びこれらカチオンと結合して常温型熔融塩を形成する能力を有するアニオンからなる常温型熔融塩にリチウム塩及び該常温型熔融塩に対し 1～130 容量%の環状有機化合物を配合してなることを特徴とするリチウム二次電池用電解液に存する。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下本発明を詳細に説明する。本発明の電解液に使用される常温型熔融塩のカチオン成分は前記一般式（1）又は（2）で示される。一般式

（1）又は（2）における  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  及び  $R_5$  がアルキル基の場合、具体的には、メチル、エチル基、 $i$ -プロピル基、 $n$ -ブチル基、 $n$ -ヘキシル基等の炭素数 1～6 の直鎖又は分岐のアルキル基が挙げられる。 $R_6$  も同様に炭素数 1～10 の直鎖又は分岐のアルキル基を表す。 $R_1 \sim R_3$  又は  $R_4 \sim R_6$  は同じアルキル基であっても或いは異なったアルキル基であってもよい。

【0011】一般式（1）で示される 4 級イミダゾリウムカチオンとして好ましくは  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  の合計炭素数が 2～8 のものであり、具体的には例えば、1, 3-ジメチルイミダゾリウム、1-エチル-3-メチルイミダゾリウム、1- $n$ -ブチル-3-メチルイミダゾリウム、1, 2, 3-トリメチルイミダゾリウム、1, 2-ジメチル-3-エチルイミダゾリウム、1-ブチル-2, 3-ジメチルイミダゾリウム等が挙げられる。また一般式（2）で示される 4 級ピリジニウムカチオンとしては、好ましくは  $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$  の合計炭素数が 2～10 のものであり、具体的には例えば、 $N$ -エチルピリジニウム、 $N$ - $n$ -ブチルピリジニウム、 $N$ - $s$ -ブチルピリジニウム、 $N$ - $n$ -プロピルピリジニウム、1-エチル-2-メチルピリジニウム、1- $n$ -ヘキシル-2-メチルピリジニウム、1- $n$ -ブチル-4-メチルピリジニウム、1- $n$ -ブチル-2, 4-ジメチルピリジニウム等が挙げられる。これらカチオンと結合して常温型熔融塩を形成する能力を有するアニオンとしては、具体的には、例えば、 $BF_4^-$ 、 $PF_6^-$ 、 $AlCl_4^-$ 、 $(CF_3SO_2)_2N^-$ 、 $(CF_3SO_2)_3C^-$  等が挙げられる。

【0012】上記熔融塩に配合して用いられる環状有機化合物としては、環状エステル類、含硫黄環状化合物

類、環状エーテル類である。具体的には環状エステル類としては、プロピレンカーボネート、エチレンカーボネート、ブチレンカーボネート等のアルキレンカーボネート類や $\gamma$ -ブチロラクトン、 $\delta$ -バレロラクトン等のラクトン類が挙げられる。含硫黄環状化合物としては、プロパンスルтон、スルホラン、エチレンサルファイト、チオフェノール等が挙げられる。

【0013】環状エーテル類としてはフラン、2-メチルテトラヒドロフラン、3-メチルテトラヒドロフラン、2, 5-ジメチルテトラヒドロフラン、テトラヒドロピラン、2-メチルテトラヒドロピラン、3-メチルテトラヒドロピラン、フラン、2-メチルフラン、3-メチルフラン、ピラン、2-メチルピラン、3-メチルピラン、1, 3-ジオキソラン、4-メチル-1, 3-ジオキソラン、1, 3-ジオキサン、1, 4-ジオキサン等の 5～6 員環のエーテル類が挙げられる。

【0014】これら環状有機化合物は、常温型熔融塩に対して、1～130 容量%の範囲で配合され、好ましくは 2～100 容量%、特にリチウムサイクル効率と難燃性のバランスの点で好ましいのは 3～40 容量%である。配合量が少ないと、良好なりチウムサイクル効率、サイクル特性を得ることが難しく、また、配合量が多すぎると引火性を帯びる可能性があり、十分な安全性が得られない。

【0015】本発明の電解液に使用されるリチウム塩としては、 $LiAlCl_4$ 、 $LiPF_6$ 、 $LiBF_4$ 、 $LiClO_4$ 、 $LiAsF_6$ 、 $LiSbF_6$ 、 $LiCF_3SO_3$ 、 $LiN(CF_3SO_2)_2$ 、 $LiN(CF_3CF_2SO_2)_2$ 、 $LiN(CF_3SO_2)(CF_3(CF_2)_3SO_2)$ 、 $LiN(CF_3(CF_2)_3SO_2)_2$ 、 $LiC(CF_3SO_2)_3$ 、 $LiC(CF_3CF_2SO_2)_3$ 、などが例示される。電解液中のリチウム塩濃度は 0.1～5 mol/dm<sup>3</sup> の濃度範囲で用いることができるが、好ましくは 0.2～4 mol/dm<sup>3</sup> の濃度範囲である。

【0016】本発明の電解液を製造する方法は特に限定されるものではなく、常温型熔融塩、リチウム塩、環状有機化合物を任意の順序で混合すればよい。本発明の電解液は、常温型熔融塩と環状有機化合物を組み合わせるにより難燃性を維持するとともに、電解液の粘性を下げ、リチウムカチオンの移動度を上げると同時に、負極活物質として、リチウム金属あるいはリチウム合金等を用いた場合、リチウム金属と該環状有機化合物が反応し、界面にリチウムイオン透過性の保護被膜を形成する効果により、リチウムサイクル効率を上げ、サイクル特性を向上させることができるものと考えられる。

#### 【0017】

【実施例】以下、本発明を実施例により更に具体的に説明するが、本発明はその要旨を超えない限り、以下の実施例に制約されるものではない。なお、電解液の性能は

以下の方法で評価した。

【0018】（電解液の自己消火性評価）幅15mm、長さ300mm、厚さ0.19mmの短冊状のガラス繊維濾紙を、電解液の入ったビーカーに10分以上浸した。ビーカーの縁でガラス繊維濾紙から過剰の電解液を除き、ガラス繊維濾紙の一端をクリップで挟み垂直に吊した。この下端よりライター類などの小ガス炎で約3秒間着火し、火源を取り除いた状態で自己消火性の有無及び消火するまでの時間を測定した。

【0019】（リチウムサイクル効率の測定）リチウム

$$\text{サイクル効率 (\%)} = \frac{\text{溶解に要した電気量}}{\text{電析に要した電気量}} \times 100$$

【0021】（充放電容量の測定）実施例及び比較例の電解液を使用してコイン型のリチウム二次電池（直径20mm、厚さ1.6mm）を作成し、充放電容量を測定した。作成したコイン型電池は、図1にその断面図を示す様に、正極端子を兼ねたステンレス製ケース1、負極端子を兼ねたステンレス製封口板2とがガスケット3で絶縁シールされている。正極4は正極活物質としてのリチウムコバルト複合酸化物（ $\text{LiCoO}_2$ ）に、導電剤としてのアセチレンブラックと、結着剤としてのフッ素樹脂とを、重量比90:5:5の比率で混合し、これを溶剤（N-メチルピロリドン）に分散させてスラリーとした後、正極集電体としてのアルミニウム箔に塗布し、乾燥した後、直径12.5mmの正極を作製した。負極5は直径16mm、厚さ1.0mmのリチウム金属箔を用い、電解液に浸されたセパレーター6とから構成されている。電池の理論容量は4.2Vから2.5Vまでの電圧範囲で142Ah/kgである。

【0022】実施例1～11

常温型溶融塩である1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロボレート（以下、 $\text{EMIBF}_4$ と略記する）75容量部に、表-1に示す環状有機化合物25容量を添加、混合し、これに、 $\text{LiBF}_4$ を濃度が1mol/dm<sup>3</sup>となる様に溶解して電解液を調製し、リチウムサイクル効率を測定した。結果を表-1に示した。

【0023】実施例12

常温型溶融塩として、N-n-ブチルピリジニウムテトラフルオロボレート（以下、 $\text{BPPBF}_4$ と略記する）75容量部を用い、25容量部のγ-ブチロラクトン及び濃度1mol/dm<sup>3</sup>となる量の $\text{LiBF}_4$ を添加、溶解して電解液を調製し、リチウムサイクル効率の測定を行った。結果を表-1に示した。

【0024】実施例13

常温型溶融塩として、1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラクロロアルミニウム（ $\text{EMIAICl}_4$ と略記する）75容量部を用い、25容量部のγ-ブチロラクトン及び濃度0.4mol/dm<sup>3</sup>の $\text{LiAICl}_4$

サイクル効率の測定は乾燥空気雰囲気下、作用極にニッケル板またはアルミ板（有効電極面積：0.64cm<sup>2</sup>）、対極にリチウム金属板（有効電極面積：0.64cm<sup>2</sup>）を用いたコインセル内に電解液を設置して、充放電装置（北斗電工製HJ-101SM6）を用い、定電流密度（電流密度：0.2mA/cm<sup>2</sup>）、電析電気量（0.12C/cm<sup>2</sup>）条件下で行った。サイクル効率は以下の式により算出した。

【0020】

【数1】

溶解に要した電気量

電析に要した電気量

を溶解した電解液を調製し、リチウムサイクル効率の測定を行った。結果を表-1に示した。

【0025】比較例1

環状有機化合物を使用しなかった他は実施例1と同様の電解液を調製し、リチウムサイクル効率の測定を行った。結果を表-1に示した。

【0026】比較例2

環状有機化合物を使用しなかった他は実施例12と同様の電解液を調製し、リチウムサイクル効率の測定を行った。結果を表-1に示した。

【0027】比較例3

環状有機化合物を使用しなかった他は実施例13と同様の電解液を調製し、リチウムサイクル効率の測定を行った。結果を表-1に示した。

【0028】実施例14

常温型溶融塩として、 $\text{EMIBF}_4$ 95容量部と5容量部のγ-ブチロラクトンを添加し、濃度2.8mol/dm<sup>3</sup>の $\text{LiBF}_4$ を溶解した電解液についてコインセルによる充放電容量の測定を行った。結果を表-1及び図2に示した。

【0029】比較例4

環状有機化合物を使用しなかった他は実施例14と同様の電解液を調製し、コインセルによる充放電容量の測定を行った。結果を表-1及び図2に示した。

【0030】実施例15

常温型溶融塩として、 $\text{EMIBF}_4$ を用い、25容量部のプロピレンカーボネートを添加し、濃度2.8mol/dm<sup>3</sup>の $\text{LiBF}_4$ を溶解した電解液について自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

【0031】実施例16

環状有機化合物としてγ-ブチロラクトンを用いた他は実施例15と同様の電解液を調製し、自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

【0032】実施例17

環状有機化合物にエチレンサルファイトを用いた他は実施例15と同様の電解液を調製し、自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

## 【0033】実施例18

常温型溶融塩として、 $\text{EMIBF}_4$  75容量部を用い、25容量部のエチレンカーボネートを添加し、濃度  $1 \text{ mol/dm}^3$  の  $\text{LiPF}_6$  を溶解した電解液について自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

## 【0034】実施例19

$\text{EMIBF}_4$  50容量部、エチレンサルファイト50容量部を用いた他は実施例17と同様の電解液を調製し、自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

## 【0035】実施例20

常温型溶融塩として、 $\text{BPBF}_4$  を用いた他は実施例17と同様の電解液を調製し、自己消火性評価を行った。

結果を表-2に示した。

## 【0036】比較例5

有機溶媒電解液の例としてプロピレンカーボネートに、濃度  $1 \text{ mol/dm}^3$  の  $\text{LiBF}_4$  を溶解した電解液について自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

## 【0037】比較例6

$\text{EBIBF}_4$  40容量部、エチレンサルファイト60容量部を用いた他は実施例17と同様の電解液を調製し、自己消火性評価を行った。結果を表-2に示した。

## 【0038】

## 【表1】

	溶融塩	環状有機化合物	組成比 (体積比)		リチウム塩濃度 [mol/dm <sup>3</sup> ]		リチウムサイクル効率*	
			X	Y	$\text{LiBF}_4$	$\text{LiAlCl}_4$	Ni電極	Al電極
実施例1	$\text{EMIBF}_4$	エチレンカーボネート	75	25	1		41	70
実施例2	$\text{EMIBF}_4$	プロピレンカーボネート	75	25	1		33	71
実施例3	$\text{EMIBF}_4$	$\gamma$ -ブチロラクトン	75	25	1		47	85
実施例4	$\text{EMIBF}_4$	1,3-ジオキソラン	75	25	1		22	65
実施例5	$\text{EMIBF}_4$	1,3-ジオキソラン	75	25	1		21	
実施例6	$\text{EMIBF}_4$	1,4-ジオキソラン	75	25	1		18	
実施例7	$\text{EMIBF}_4$	1,3-ジオキソラン	75	25	1		18	62
実施例8	$\text{EMIBF}_4$	1,3-ジオキソラン	75	25	1		30	
実施例9	$\text{EMIBF}_4$	スルホン	75	25	1		18	
実施例10	$\text{EMIBF}_4$	エチレンサルファイト	75	25	1		43	70
実施例11	$\text{EMIBF}_4$	1,2-ジオキソラン	75	25	1		58	
実施例12	$\text{BPBF}_4$	$\gamma$ -ブチロラクトン	75	25	1		35	
実施例13	$\text{EMIAICl}_4$	$\gamma$ -ブチロラクトン	75	25		0.4	28	
実施例14	$\text{EMIBF}_4$	$\gamma$ -ブチロラクトン	95	5	2.8			77
比較例1	$\text{EMIBF}_4$		100	0	1		9	41
比較例2	$\text{BPBF}_4$		100	0	1		8	
比較例3	$\text{EMIAICl}_4$		100	0		0.4	10	
比較例4	$\text{EMIBF}_4$		100	0	2.8		10	53

リチウムサイクル効率\*: 5~20サイクルの平均効率を示す

## 【0039】

## 【表2】

	溶融塩	環状有機化合物	組成比 (体積比)		リチウム塩濃度 [mol/dm <sup>3</sup> ]	自己消火性	消火までの時間
			X	Y			
実施例15	$\text{EMIBF}_4$	プロピレンカーボネート	75	25	$\text{LiBF}_4$	2.8	あり 79秒
実施例16	$\text{EMIBF}_4$	$\gamma$ -ブチロラクトン	75	25	$\text{LiBF}_4$	2.8	あり 61秒
実施例17	$\text{EMIBF}_4$	エチレンサルファイト	75	25	$\text{LiBF}_4$	2.8	あり 1秒以内
実施例18	$\text{EMIBF}_4$	エチレンカーボネート	75	25	$\text{LiPF}_6$	1	あり 47秒
実施例19	$\text{EMIBF}_4$	エチレンサルファイト	50	50	$\text{LiBF}_4$	2.8	あり 3秒以内
実施例20	$\text{BPBF}_4$	エチレンサルファイト	75	25	$\text{LiBF}_4$	2.8	あり 1秒以内
比較例5		プロピレンカーボネート	0	100	$\text{LiBF}_4$	1	なし
比較例6	$\text{EMIBF}_4$	エチレンサルファイト	40	60	$\text{LiBF}_4$	2.8	なし

## 【0040】

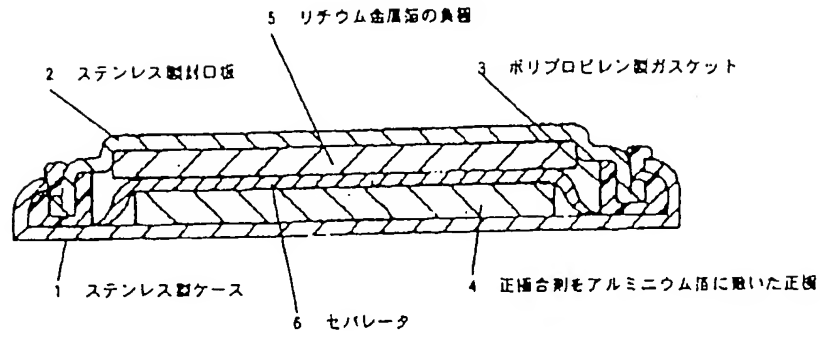
【発明の効果】本発明のリチウム二次電池用電解液は、リチウムサイクル効率、サイクル特性等の電池特性に優れると共に、難燃性を有し、安全性、信頼性が高いなど、本発明は優れた特有の効果を奏する。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】実施例で製造したコイン型セルの断面図

【図2】実施例14及び比較例4の電解液を用いたコイン型セル電池のサイクル特性を示す図

【図1】



【図2】

